



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 45 617.8

**Anmeldetag:** 30. September 2002

**Anmelder/Inhaber:** EOS GmbH Electro Optical Systems,  
Krailing/DE  
(vormals: EOS GmbH Electro Optical Systems,  
Planegg/DE)

**Bezeichnung:** Vorrichtung und Verfahren zum schichtweisen  
Herstellen von dreidimensionalen Objekten

**IPC:** B 23 K 26/06

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 8. August 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

PRÜFER

PRÜFER & PARTNER GbR · PATENTANWÄLTE · EUROPEAN PATENT ATTORNEYS

EP 543-16501.5

DH/PK/dw

EOS GmbH Electro Optical Systems, 82152 Krailling/BRD

---

Vorrichtung und Verfahren zum schichtweisen Herstellen von  
dreidimensionalen Objekten

---

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Herstellen von dreidimensionalen Objekten nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. des Patentanspruchs 4.

Bei generativen Fertigungsverfahren, wie z. B. dem Selektiven Lasersintern inklusive dem selektiven Laserschmelzen oder der Stereolithographie werden dreidimensionale Objekte schichtweise hergestellt, indem Schichten eines Aufbaumaterials aufgetragen und durch selektives Verfestigen an den dem Querschnitt der Objekte entsprechenden Stellen miteinander verbunden werden.

Ein derartiges Verfahren und eine derartige Vorrichtung sind beispielsweise aus der EP 0 734 842 bekannt, die das selektive Lasersintern von pulverförmigem Aufbaumaterial beschreibt. Dort wird eine erste Schicht eines pulverförmigen Materials auf einen absenkbaren Träger aufgebracht und an den dem Objekt entsprechenden Stellen mit einem Laser bestrahlt, so daß das Material dort zusammensintert. Danach wird der Träger abgesenkt

und es wird auf diese erste Schicht eine zweite Schicht aufgebracht, die wiederum selektiv gesintert wird und dabei mit der ersten Schicht verbunden wird. Dadurch wird das Objekt schichtweise gebildet.

Erfolgt das selektive Verfestigen mittels eines Laserstrahls, so ist die Strukturauflösung bei dem zu bildenden Objekt um so höher, je kleiner der Strahlfokus auf der zu verfestigenden Schicht ist. Die Verwendung eines kleinen Strahlfokus führt aber auf der anderen Seite zu einer Erhöhung der Belichtungszeit einer ausgedehnten Schicht. Aus diesem Grunde wird beispielsweise in der EP 0 758 952 vorgeschlagen, den Querschnitt eines zu bildenden Objektes bei der Belichtung aufzuspalten in einen mit kleinem Fokus zu bestrahlenden Randbereich und einen mit großem Fokus zu bestrahlenden inneren Bereich. Dies erlaubt es, durch die Wahl eines kleinen Strahlfokus im Randbereich eine hohe Strukturauflösung zu erzielen, während die Wahl eines größeren Strahlfokus im inneren Bereich eine schnellere Verfestigung des inneren Bereichs gestattet.

In der EP 0 758 952 wird vorgeschlagen, Strahlfokusse unterschiedlichen Durchmessers durch eine außerhalb des Lasers angeordnete Strahloptik zu erzeugen. Die Variationsmöglichkeit des Fokusedurchmessers ist dabei jedoch begrenzt, da die Fokussierbarkeit der Strahlung nicht nur von der verwendeten Optik, sondern auch von der durch die Laserstrahlquelle vorgegebenen Strahlqualität, gekennzeichnet durch das sogenannte Strahlparameterprodukt, abhängig ist. Wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, ist das Strahlparameterprodukt definiert als das Produkt aus den Strahlkenngrößen Strahltaillenradius  $w$  und Divergenzwinkel  $T$  bezogen auf die optische Achse 0 (siehe Fig. 3). Dabei ist die Strahlqualität umso besser, je kleiner das Produkt aus Strahltaillenradius und Divergenzwinkel ist. Die bestmögliche

Strahlqualität wird im sogenannten Gaußschen Grundmode erzielt und ist durch die Wellenlänge der Strahlung festgelegt.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum schichtweisen generativen Herstellen eines dreidimensionalen Objekts bereitzustellen, die die Anpassung der Strahleigenschaften an die Belichtungsanforderungen in den unterschiedlichen Bereichen eines herzustellenden Objekts gestatten.

Die Aufgabe wird gelöst durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1 bzw. ein Verfahren nach Anspruch 4.

Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Weitere Merkmale und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Figuren. Von den Figuren zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines beispielhaften Querschnitts eines herzustellenden Objektes.
- Fig. 3 eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung des Strahlparameterprodukts.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Der in Fig. 1 dargestellte Laser 1 enthält ein laseraktives Medium 1a und einen aus zwei Spiegeln 2 bestehenden

Resonator. Der von dem Laser 1 emittierte Laserstrahl wird durch eine Strahlablenkeinheit 5 auf zu verfestigende Bereiche einer Schicht 7 gerichtet. Zwischen den Laser 1 und die Strahlablenkeinheit 5 ist eine Einheit zur Strahlaufweitung 4 in den Strahlengang eingebracht. Zwischen der Strahlablenkeinheit 5 und der Ebene der zu verfestigenden Schicht 7 ist eine Fokussiereinheit 6 zum Fokussieren des Strahls in der Ebene der zu verfestigenden Schicht 7 in den Strahlengang eingebracht. Durch eine Schaltvorrichtung 8 kann eine in den Resonator eingebrachte Modenblende 3 variiert werden.

Das Vorsehen einer kleinen Modenblende führt zu einer Unterdrückung von TEM-Moden höherer Ordnung in dem Laser. Für maximale Strahlqualität schwingt die Strahlung in diesem Falle idealerweise nur noch im Gaußschen Grundmode an, bei dem die Intensitätsverteilung bezüglich Querschnitten senkrecht zur optischen Achse gaußförmig ist. Das Strahlparameterprodukt erreicht hierbei sein von der Wellenlänge der Strahlung abhängiges Minimum. Bei gegebener Wellenlänge ist damit laserseitig das physikalische Optimum bezüglich Fokussierbarkeit erreicht. Eine Beeinflussung des Fokusedurchmessers kann nun nur noch durch die Auslegung des nachgeschalteten optischen Systems in Form einer Variation von Arbeitsabstand und Aperturedurchmessern erfolgen. Demgegenüber führt eine Modenblende mit einem großen Lochdurchmesser dazu, daß auch in höheren transversalen Moden Strahlung emittiert wird. In diesem Fall besitzt der Strahl ein größeres Strahlparameterprodukt. Es können so bei gleicher Auslegung des optischen Systems nur noch entsprechend größere Fokusedurchmesser erzielt werden.

Bei der oben beschriebenen Vorrichtung kann deshalb durch die Variation der Modenblende in dem Laser 1 mittels der Schaltvorrichtung 8 die Fokussierbarkeit der Laserstrahlung

verändert werden. Dadurch kann ein Verfahren zum schichtweisen generativen Herstellen eines dreidimensionalen Objektes unter Einwirkung von Laserstrahlung an den jeweiligen, dem Querschnitt des Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen optimiert werden. Bei einem derartigen Verfahren findet abwechselnd ein Aufbringen einer Schicht eines Aufbaumaterials auf einen Träger oder eine zuvor aufgetragene Schicht und ein selektives Verfestigen von Bereichen dieser Schicht mittels Laserstrahlung statt. Dabei kann durch Variieren des Durchmessers des Laserstrahls am Auftreffpunkt auf die Schicht ein optimaler Kompromiß zwischen Belichtungszeit und Strukturgenauigkeit beim Verfestigen erzielt werden, wie anhand von Fig. 2 gezeigt werden soll.

Fig. 2 zeigt beispielhaft einen zu verfestigenden Bereich 24 einer Schicht, der einem Querschnitt eines herzustellenden Objektes entspricht. Während der Verfestigung wird der Bereich 24 in einen Randbereich bzw. Konturbereich 25 und einen inneren Bereich 26 unterteilt.

Im Randbereich 25 ist es wichtig, feine Strukturen auflösen zu können. Aus diesem Grunde ist es von Vorteil, wenn der Laserstrahlfokus in diesem Bereich so klein wie möglich gewählt werden kann. Daher wird zum Verfestigen des Randbereichs 25 der Laserstrahl auf diesen Bereich gerichtet und mittels der Schalteinheit eine kleine Modenblende 3 gewählt. Damit emittiert der Laser 1 nur mehr den Gaußschen Grundmode, wodurch der auf die Schicht auftreffende Laserstrahl einen kleinen Fokusbereich 1 aufweist. Ohne Veränderungen an der Fokussiereinheit 6 vornehmen zu müssen, führt allein die Wahl einer kleinen Modenblende 3 dazu, daß infolge der besseren Fokussierbarkeit der Strahlung ein kleiner Fokusbereich vorhanden ist. Um einen ausreichend hohen Energieeintrag in den im Randbereich zu verfestigenden Werkstoff

zu gewährleisten, kann die Verfahrensgeschwindigkeit des Laserstrahls herabgesetzt werden. Dies ist aufgrund des in der Regel wesentlich geringeren Flächenanteils des Randbereichs gegenüber dem inneren Bereich ohne eine nennenswerte Prozeßverlangsamung möglich.

In dem inneren Bereich 26 müssen nicht so feine Strukturen aufgelöst werden, wie in dem Randbereich 25. Weiterhin ist in der Regel die Fläche des inneren Bereichs 26 wesentlich größer als jene des Randbereichs 25. Daher ist es vorteilhaft, für den inneren Bereich 26 einen größeren Strahlfokus zu wählen als für den Randbereich 25, um die Verfestigungszeit für den inneren Bereich möglichst kurz zu gestalten. Ohne Veränderungen an der Fokussiereinheit 6 vornehmen zu müssen, wird zu diesem Zweck mittels der Schaltvorrichtung 8 eine Modenblende 3 mit einem größerem Öffnungsdurchmesser als jene für die Belichtung des Randbereichs 25 gewählt. Dies führt zu dem Vorhandensein von Moden höherer Ordnung in der Strahlung. Diese läßt sich dann nicht mehr so gut fokussieren, jedoch erhöht sich die Gesamtleistung der Strahlung. Da beim Belichten großflächiger Bereiche eine kurze Gesamtbelichtungszeit angestrebt wird, ist es gerade vorteilhaft, mit einem nicht so stark fokussierten, dafür aber eine höhere Intensität besitzenden Strahl zu arbeiten. Die Strahlqualität ist bei Verwendung einer größeren Modenblende 3 verringert. Das spielt im inneren Bereich, der oftmals mit der "Hatch"-Technik belichtet wird, nur eine untergeordnete Rolle. Die Umschaltung von der kleineren auf die größere Modenblende und umgekehrt erfolgt durch ein schnelles Schaltelement, um der Prozeßgeschwindigkeit Rechnung zu tragen.

Dadurch dass der Strahlfokus mittels der Modenblende 3 variiert wird, ist die Fokussierung mittels der Fokussiereinheit 6 stark vereinfacht. Der Strahlfokus kann somit auch ohne variable Fokussieroptik durch Wechsel der Modenblende variiert werden. Die

Fokussiereinheit ist fest auf eine vorher bestimmte optimale Einstellung (Fokussierung) festgelegt.


Weiterhin läßt sich mit dem oben beschriebenen Verfahren ein Geschwindigkeitsvorteil beim Verfestigen einer Schicht erzielen. Würde der Strahlfokus lediglich mittels der Fokussiereinheit 6 eingestellt, so wäre das Resultat stets eine größere Energiedichte des Strahls mit kleinerem Fokusbereich gegenüber jenem mit größerem Fokusbereich. Um zur Verfestigung an allen Stellen stets die gleiche Energiemenge in die Schicht einzubringen, müßte also die Energiedichte des Strahls mit kleinerem Fokusbereich durch Drosselung der Laserenergie reduziert werden oder der Strahl mit dem kleineren Fokusbereich schneller bewegt werden als jener mit dem größeren Fokusbereich. Aufgrund der Flächenverhältnisse, ist jedoch die Zielsetzung gerade umgekehrt: Der Strahl mit größerem Fokusbereich sollte aufgrund der verglichen zu dem Randbereich 25 größeren Fläche des inneren Bereichs 26 schneller bewegt werden als der Strahl mit kleinerem Fokusbereich.

Eine Vergrößerung der Modenblende in dem Laser hat demgegenüber den Effekt, dass die Leistung der Strahlung erhöht wird, da die Strahlung zusätzliche Moden enthält. Somit wirkt die Verwendung einer Modenblende einer Verringerung der Energiedichte des Strahls durch ein Defokussieren entgegen, wodurch der Strahl mit größerem Fokusbereich schneller bewegt werden kann und sich die Verfestigungszeit verringert.

Eine Veränderung der Modenzusammensetzung über Modenblenden kann auch zum Zwecke der Erzeugung eines gewünschten Energieeintrags vorgenommen werden. Es kann z.B. wünschenswert sein, bestimmte räumliche Bereiche stärker zu belichten, beispielsweise um eine höhere Werkstoffdichte zu erzielen.



In einer zweiten Ausführungsform wird während der Verfestigung zusätzlich eine Veränderung an der fokussierenden Optik 6 vorgenommen. Dadurch wird der Spielraum bei der Wahl eines geeigneten Durchmessers des Strahlfokus gegenüber der ersten Ausführungsform erhöht.

In einer weiteren Ausführungsform kann während der Belichtung auch der Aufweitefaktor der Strahlung durch die Strahlaufweitungs-vorrichtung 4 verändert werden. Dadurch wird ein zusätzlicher Freiheitsgrad bei der Einstellung des Fokusbereichs gewonnen.

Natürlich ist es auch denkbar, mehr als zwei unterschiedliche Modenblenden zu verwenden. Daran angepaßt können dann mehr als zwei unterschiedliche Strahldurchmesser gewählt werden.

Ferner kann es in bestimmten Fällen auch zweckmäßig sein, während der Belichtung durch in Durchmesser oder geometrischer Form unterschiedliche Modenblenden unterschiedliche Modenzusammensetzungen höherer Ordnung zu erzeugen.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zum schichtweisen Herstellen eines dreidimensionalen Objektes mittels selektiven Verfestigens an den dem Querschnitt des Objekts entsprechenden Stellen in einer Schicht eines Aufbaumaterials unter Verwendung eines Lasers, mit einem Laser (1) und einer Fokussiereinheit (6) zum Bündeln der Laserstrahlung, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (1) eine Vorrichtung (8) zum Verändern der Modenzusammensetzung der Laserstrahlung aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung (8) zum Verändern der Modenzusammensetzung wenigstens eine Modenblende (3) aufweist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine Einheit zur Strahlaufweitung (4).

4. Verfahren zum schichtweisen Herstellen eines dreidimensionalen Objektes unter Einwirkung von Laserstrahlung an den jeweiligen dem Querschnitt des Objekts in einer Schicht entsprechenden Stellen, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser während der Herstellung mit einstellbarer Modenzusammensetzung betrieben wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Modenzusammensetzung zum Erzeugen eines gewünschten Energieeintrags geändert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Modenzusammensetzung in Abhängigkeit vom Ort auf der Schicht, in dem die Laserstrahlung einwirkt, auf einen Mode geringerer Ordnung, bevorzugt den Grundmode geändert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Randbereich eines Teilbereichs einer Schicht, auf den die Laserstrahlung einwirkt, die Modenzusammensetzung auf die Grundmode beschränkt wird und in einem Innenbereich des Teilbereichs die Modenzusammensetzung neben der Grundmode noch Moden höherer Ordnung enthält.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlung vor dem Einwirken fokussiert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokussierung der Laserstrahlung in Abhängigkeit von der Modenzusammensetzung vorgenommen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Randbereich eines Teilbereichs einer Schicht, auf den die Laserstrahlung einwirkt, die Laserstrahlung stärker fokussiert wird als in einem Innenbereich des Teilbereichs.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Modenzusammensetzung in Abhängigkeit von einer Geschwindigkeit, mit der der fokussierte Strahl über die Schicht bewegt wird, verändert wird.

## Zusammenfassung

Eine Vorrichtung und ein Verfahren dienen dem schichtweisen, generativen Herstellen von dreidimensionalen Objekten mittels selektiven Verfestigens einer aufgetragenen Schicht mittels Laserstrahlung. Dabei enthält ein Laser (1) eine Schaltvorrichtung (8) zum Verändern der Modenzusammensetzung der Laserstrahlung. Durch die Veränderung der Modenzusammensetzung der Strahlung während des selektiven Verfestigens einer Schicht wird die Fokussierbarkeit der Strahlung in Bereichen (25), in denen eine hohe Strukturgenauigkeit erforderlich ist, erhöht. In den übrigen zu belichtenden Bereichen wird die erforderliche Belichtungszeit verringert, indem die Intensität der Strahlung vergrößert wird.

(Fig. 1)

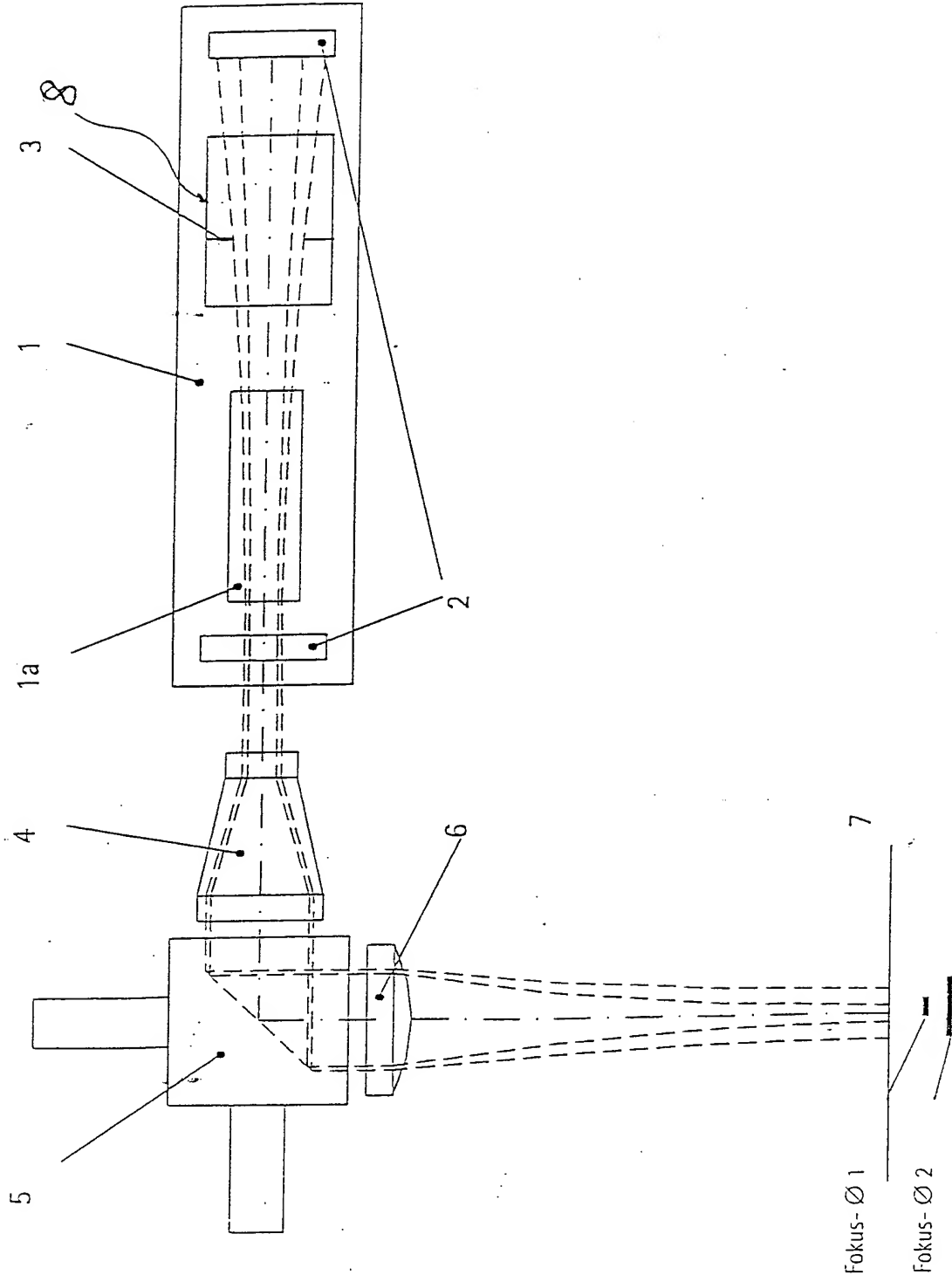


Fig. 1

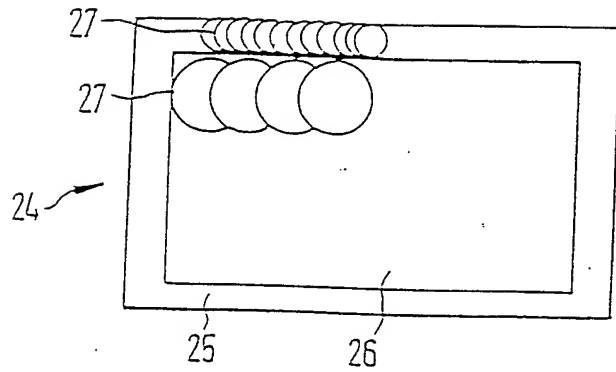


Fig. 2

$$\text{Strahlparameterprodukt} = w \times T$$

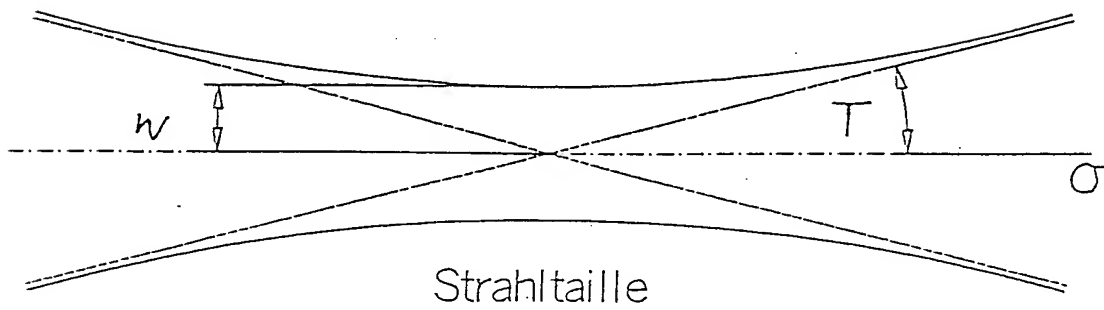


Fig. 3